



HAL
open science

Compostage et valorisation par l'agriculture des déchets urbains

Sabine Houot, Philippe Cambier, Marjolaine Deschamps, Pierre Benoit, Guillaume Bodineau, Bernard Nicolardot, Christian Morel, Monique Lineres, Yves Le Bissonnais, Christian Steinberg, et al.

► **To cite this version:**

Sabine Houot, Philippe Cambier, Marjolaine Deschamps, Pierre Benoit, Guillaume Bodineau, et al.. Compostage et valorisation par l'agriculture des déchets urbains. *Innovations Agronomiques*, 2009, 5, pp.69-81. 10.17180/6r07-v729 . hal-01192045

HAL Id: hal-01192045

<https://hal.science/hal-01192045>

Submitted on 30 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Compostage et valorisation par l'agriculture des déchets urbains

S. Houot¹, P. Cambier¹, M. Deschamps¹, P. Benoit¹, G. Bodineau¹, B. Nicolardot², C. Morel³, M. Linères³, Y. Le Bissonnais⁴, C. Steinberg⁶, C. Leyval⁷, T. Beguiristain⁷, Y. Capowiez⁸, M. Poitrenaud⁹, C. Lhoutellier⁹, C. Francou⁹, V. Brochier⁹, M. Annabi¹⁰, T. Lebeau¹¹

(1) INRA, UMR1091 Environnement et Grandes Cultures, 78850 Grignon ; (2) ENESAD UMR1158, 21000 Dijon ; (3) INRA, UMR1220, 33000 Bordeaux ; (4) INRA, UMR1221, 34000 Montpellier ; (6) INRA, UMR1229, 21000 Dijon ; (7) CNRS UMR 1088, 54000 Nancy ; (8) INRA, UR1115, 84000 Avignon ; (9) Veolia Environnement R&D ; (10) INRA Tunisie ; (11) UHA Colmar

Correspondance : sabine.houot@grignon.inra.fr

Résumé

Les composts d'origine urbaine représentent une source de matière organique valorisable en agriculture, d'autant plus dans les zones où l'élevage a disparu. Leur utilisation en agriculture est réglementée par des normes rendues d'application obligatoire : norme NFU 44 095 pour les composts de boue, norme NFU 44051 pour les autres amendements organiques. Ces normes garantissent l'innocuité à court et moyen terme en limitant les concentrations en éléments traces, composés traces organiques, inertes et pathogènes. Des méthodes de caractérisation au laboratoire permettent d'évaluer leur valeur agronomique. Des essais au champ de longue durée permettent de mesurer les effets de leurs apports répétés. Au vu des résultats de l'essai Qualiagro en Ile de France, l'indicateur ISMO semble prometteur pour prédire leur capacité à entretenir la matière organique des sols. Les apports répétés de composts améliorent la stabilité de la structure du sol. Ils stimulent l'activité biologique, permettent d'obtenir des rendements équivalents à ceux obtenus avec une fertilisation minérale classique. Les flux d'éléments traces représentent quelques pourcents des stocks présents dans le sol avant épandage. Après 10 ans d'essai, aucune dégradation de la qualité des grains n'est mesurée. De même aucune accumulation de composés traces organiques n'est observée, ni de dégradation sanitaire des sols.

Abstract: Use of urban composts in suburban agriculture

Urban composts constitute a valuable source of organic matter that can be used in agriculture, especially in areas where animal breeding has disappeared. Their use in agriculture is regulated through obligatory standards: NFU 44095 for sludge composts and NFU 44 051 for other organic amendments. These standards assure the innocuousness at short/medium term by limiting the concentrations in trace elements, in organic micropollutants, in pathogens and inerts. Some analytical methods of characterisation have been developed to predict their agronomic value. Long term field experiments are useful tools to evaluate the effects of repeated applications. From the results of the Qualiagro field experiment, the indicator ISMO seems valuable to predict the capacity of organic amendments at increasing soil organic matter contents. Repeated applications of composts have improved soil structure stability, stimulated soil microbial activity, and produced yields equivalent to mineral fertilization. The fluxes of trace elements have reached a few percents of initial soil contents before starting the experiment. After 10 years of experiment, no degradation of grain quality has been noticed nor accumulation of organic micropollutants in soil or sanitary degradation of soils.

Introduction

Nous produisons annuellement 22 millions de tonnes d'ordures ménagères, 6,5 millions de tonnes de déchets verts et 900 000 tonnes (en matière sèche) de boue de station d'épuration urbaine (ADEME, 2007). Actuellement, environ 60 % des boues sont recyclées en agriculture et le compostage des déchets verts est maintenant largement développé. En revanche, seulement 6 % des ordures ménagères sont traitées par voie biologique incluant compostage et méthanisation alors que ces modes de traitement pourraient concerner les 30 % des déchets organiques fermentescibles présents dans nos ordures ménagères. Le traitement biologique par méthanisation vise à produire de l'énergie. Le compostage vise à stabiliser et hygiéniser les fractions fermentescibles de nos déchets, en vue généralement de la production d'amendements organiques valorisables en agriculture, les composts. Les travaux du Grenelle de l'Environnement ont abouti à la nécessité d'augmenter le recyclage de nos déchets, ceci incluant le traitement biologique et le retour au sol de la fraction organique de nos déchets. Le compostage des déchets organiques permet de fournir des amendements organiques qui peuvent constituer une des seules sources de matières organiques (MO) disponibles dans les zones où l'élevage a disparu, alors nécessaire pour compenser les déficits en MO pouvant exister dans les zones d'agriculture intensive. Si la qualité des composts repose sur des critères relatifs à leur innocuité (sanitaire et environnementale) et à leur efficacité agronomique (qualité de la MO, valeur fertilisante azotée, ...), les agriculteurs, les collecteurs de produits agricoles, les industriels de l'agroalimentaire et plus généralement les consommateurs s'interrogent sur les conséquences de l'épandage en agriculture de ces amendements issus du traitement de déchets. Quels sont les effets sur la fertilité des sols, sur leur qualité ? Quel est le devenir des éléments traces, des composés traces organiques, des pathogènes éventuellement présents dans les composts épandus ? Si la réglementation actuelle garantit l'absence de risques à court terme, la question demeure sur les effets à plus long terme. Des questions se posent également sur l'efficacité agronomique de ces Produits Résiduaux Organiques (PRO) qu'il est nécessaire de maîtriser pour pouvoir les intégrer dans les itinéraires techniques des agriculteurs. En particulier, leur valeur fertilisante doit être connue pour ajuster les fertilisations minérales complémentaires aux besoins des cultures. Pour répondre à ces questions, les essais au champ sont des outils permettant d'étudier les effets des épandages sur la qualité des récoltes, des sols, des eaux circulant dans les sols.

1. La qualité des composts d'origine urbaine

Le compostage est un procédé de traitement aérobie biologique contrôlé de dégradation et de stabilisation de la MO qui permet de transformer des déchets organiques en amendements organiques pouvant être qualifiés de produits. Les composts peuvent être mis sur le marché lorsqu'ils répondent aux exigences d'efficacité, d'innocuité et de traçabilité définies par les normes NF U 44-095 (pour les composts de MIATE, Matières d'Intérêt d'Agronomie issues du Traitement des Eaux ; AFNOR 2002), rendue d'application obligatoire en mars 2004, et NF U 44-051 (pour tous les autres amendements organiques et donc les autres composts ; AFNOR 2006) rendue d'application obligatoire en Août 2007. Les plates-formes de compostage d'ordures ménagères résiduelles ont jusqu'en 2009 pour se mettre en conformité. En cas de conformité, les épandages agricoles de ces produits se font alors sans mise en place d'un plan d'épandage comme dans le cas de l'épandage des boues d'épuration.

1.1. Les critères d'innocuité réglementaires

Les critères d'innocuité fixés par les normes « amendements organiques » (Tableau 1) sont basés sur des valeurs limites, notamment en composés traces organiques (CTO), en éléments traces métalliques (ETM), en germes pathogènes et indicateurs d'efficacité du traitement biologique, en inertes et impuretés. Ces critères d'innocuité sont à respecter pour tous les amendements organiques, y compris

ceux issus d'effluents d'élevage. Des critères d'innocuité sont également définis pour les matières organiques valorisées en agriculture qui ne sont pas des amendements organiques mais des déchets comme les boues d'épuration ou industrielles. L'obtention d'un compost conforme aux normes de qualité requiert la maîtrise du procédé de compostage. Le compostage doit maîtriser les dimensions sanitaires et environnementales de son procédé. Des recherches à l'aide de pilotes de compostage et leur validation sur sites de compostage industriels permettent de mieux comprendre les déterminants de la qualité des composts produits et de mieux maîtriser l'impact des procédés utilisés.

Tableau 1: Concentrations maximales en ETM et CTO définies dans les normes NFU 44-051 et NFU 44-095, qualifiant respectivement les amendements organiques et les composts de boues d'épuration; flux maximum de polluants définis dans ces 2 normes pendant 10 ans et pour chaque épandage.

	NFU44-095	NFU44-051	2 normes	
	mg/kg MS*	mg/kg MS	g/ha/10 ans	g/ha/épandage
As	18	18	900	270
Cd	3	3	150	45
Cr	120	120	6000	1800
Cu	300	300 ou 600 mg/kg MO	10000	3000
Hg	2	2	100	30
Ni	60	60	3000	900
Pb	180	180	9000	2700
Se	12	12	600	180
Zn	600	600 ou 1200 mg/kg MO	30000	9000
7 PCB**	0,8	-	1,2	
Fluoranthène	4	4	60	6
Benzo(b)fluoranthène	2,5	2,5	40	4
Benzo(a)pyrène	1,5	1,5	20	2

* les résultats sont donnés par rapport à la matière sèche

** 7PCB: 28+52+101+118+138+153+180

Eléments Traces métalliques (ETM)

La présence d'ETM dans les composts a pour principale origine la charge des déchets entrant dans le circuit de compostage. Celle-ci est due à la présence directe d'indésirables polluants ou à la contamination des déchets par voie atmosphérique (par exemple, cas du plomb dans certains déchets verts avant son interdiction dans les carburants en 1998). La prise de conscience de la toxicité des ETM a conduit à prendre des mesures efficaces pour diminuer leur présence dans les matériaux et produits de consommation. Ceci est illustré par la suppression du mercure dans les piles ou du plomb dans l'essence. Les ETM n'étant pas biodégradables, seules des actions de collecte sélective des déchets toxiques et de tri mécanique sur site avant compostage ou au cours du procédé (criblage, affinage) permettent de limiter la teneur en ETM des composts.

Composés Traces Organiques (CTO)

A la différence des ETM présents à l'état naturel, les CTO sont principalement d'origine anthropique (produits de la chimie, résidus de combustion,...). Les CTO dans les composts proviennent essentiellement des déchets entrants (solvants, plastiques, bois traités, bois exposés à la pollution atmosphérique,...). Les CTO concernés par les normes sont les HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques) et les PCB (PolyChloro Biphenyls), mais d'autres substances comme les phtalates, dioxines, LAS (Linear Alkylbenzene Sulfonate) ou NEP (Nonyphénols) sont également étudiés dans les programmes de recherche. Les CTO étant des composés organiques plus ou moins rapidement dégradables, la maîtrise de l'activité microbienne au cours du compostage peut contribuer à diminuer les teneurs en CTO des composts. Toutefois, les interactions entre CTO et matrices organiques du

compost conduisant à la formation de résidus inextractibles de CTO peuvent également contribuer à la diminution apparente des teneurs en CTO dans les composts épandus.

Germes pathogènes

La présence de micro-organismes pathogènes dans les déchets compostés peut représenter un risque potentiel de contamination des plantes récoltées sur les parcelles où ont été épandus les composts issus du traitement de ces déchets. L'utilisation agronomique de composts urbains requiert la validation de leur efficacité agronomique mais surtout l'assurance de leur innocuité environnementale et sanitaire. Pour garantir la qualité des composts utilisés en agriculture, les normes concernant les amendements organiques, fixent des valeurs seuils pour certains germes pathogènes pouvant être à l'origine de toxico-infections alimentaires (*Listeria monocytogenes*, Salmonelles, et œufs d'helminthes) et micro-organismes indicateurs de traitement. (*Escherichia Coli*, *Clostridium perfringens*, Enterocoques). Les critères microbiologiques et les méthodes analytiques utilisés dans ces normes correspondent à ceux des normes alimentaires.

Inertes

La présence d'inertes (verre, plastiques, cailloux...) dans les composts altère la qualité visuelle du produit et est source de pollution des composts et des sols (ETM et CTO). Comme pour les ETM, seules les actions de séparation des flux en amont de la chaîne de traitement et le traitement mécanique, avant ou au cours du compostage, permettent de réduire la présence d'inertes.

1.2. Les critères d'efficacité agronomique

La notion de qualité agronomique d'un compost mais également de tout autre type de produit résiduaire organique (PRO) utilisée en agriculture est très dépendante des effets attendus et des conditions d'utilisation : conditions pédoclimatiques, type de culture, date et doses d'apport... Les effets observés après apport d'un compost ou d'autres types de PRO au sol sont liés aux caractéristiques de ces PRO et à leur devenir une fois incorporés au sol. L'efficacité agronomique des PRO est aujourd'hui essentiellement déterminée par rapport à deux critères : leur valeur fertilisante et leur valeur amendante (amendement organique pour les composts mais également amendement basique pour les boues chaulées par exemple, qui sont utilisées pour corriger des pH de sols trop acides).

Amendement organique

La première qualité agronomique attendue d'un compost est d'être un amendement organique. La valeur amendante d'un compost est liée à son niveau de stabilité défini par la résistance de sa MO à la biodégradation ; ce niveau de stabilité détermine le comportement du compost une fois incorporé au sol. Ce niveau de stabilité se détermine par la mesure de la minéralisation de la MO des composts au cours d'incubations en conditions contrôlées de laboratoire, test normalisé (XPU44-163, AFNOR, sous presse). Des tests rapides permettent aux producteurs de compost d'évaluer cette stabilité sur les plates-formes de compostage (ex du test d'auto-échauffement). Un autre indicateur, l'Indice de Stabilité de la MO (ISMO), normalisé également (XPU 44-162, AFNOR, sous presse ; Lashermes et al., 2009) a été élaboré à partir des caractéristiques biochimiques de la MO des PRO qui permettent d'évaluer leur valeur amendante plus rapidement qu'au travers des incubations longues à mettre en œuvre. Cet indice représente la fraction de MO des PRO contribuant à l'entretien des stocks de MO des sols. L'indicateur ISMO (exprimé en pourcentage du carbone organique des composts) se calcule selon :

$$\text{ISMO} = 44.5 + 0.5 \text{ SOL} - 0.2 \text{ CEL} + 0.7 \text{ LIC} - 2.3 \text{ MinC3}$$

avec SOL, CEL et LIC les fractions biochimiques soluble, cellulose et lignine du fractionnement Van Soest (en pourcentage de la matière organique) et MinC3 la proportion du C organique des composts minéralisée après 3 jours d'incubation (AFNOR, norme XPU44-162 sous presse). La Figure 1 présente des références d'indice ISMO pour différents types de matières organiques.

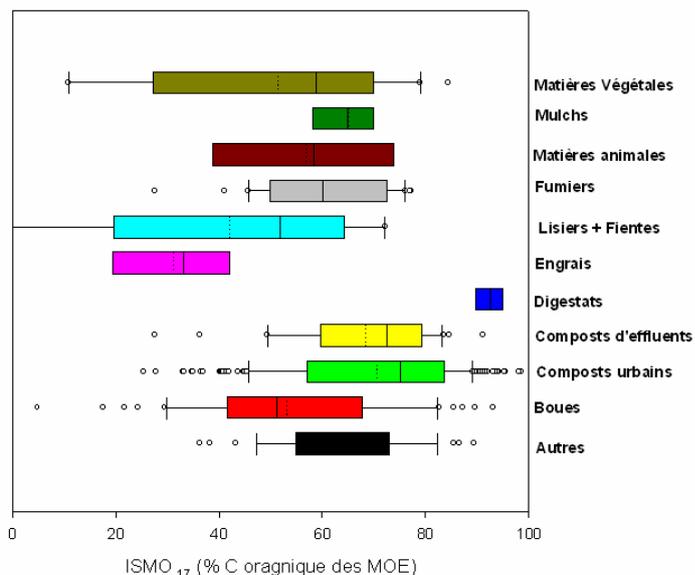


Figure 1 : Valeurs de l'indice de stabilité de la matière organique (ISMO) pour différents types de matières organiques (273 au total) (Lashermes et al., 2009)

Toutes les étapes du compostage permettent d'agir sur ce niveau de stabilité, de la constitution du mélange à la conduite de la maturation. La vitesse de stabilisation de la MO des composts au cours du compostage est dépendante du type de déchets compostés et du procédé de compostage (Figure 2)

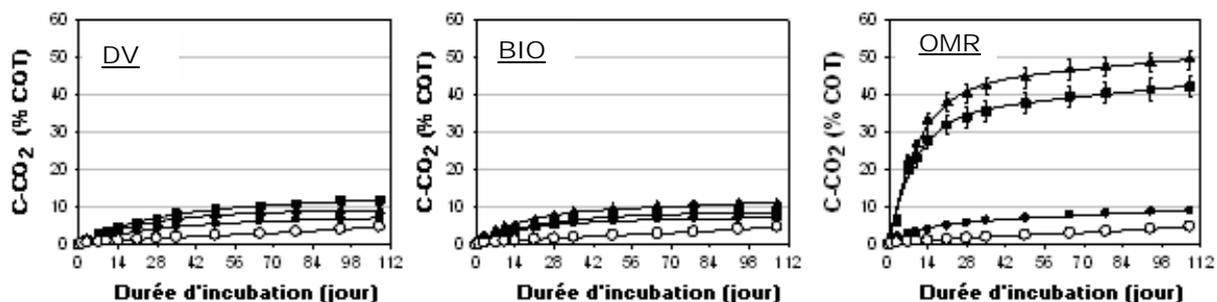


Figure 2 : Diminution de la biodégradabilité de la MO avec l'augmentation du temps de compostage (3, ▲, 4, ■ et 6 mois, ●), mise en évidence par le suivi de la minéralisation du C en CO₂ au cours d'incubations d'échantillons de composts de déchets verts (DV) de biodéchets (BIO) et d'ordures ménagères résiduelles (OMR) dans du sol (symboles vides : cinétiques de minéralisation du C organique du sol) (Francou et al., 2007).

Valeurs fertilisantes azotée et phosphatée

Les composts apportent également des éléments fertilisants comme de l'azote ou du phosphore. Si leur disponibilité est mal maîtrisée, l'apport en excès de fertilisants minéraux complémentaires peut avoir un impact sur l'environnement. C'est le cas de l'azote qui, dans les composts, est principalement sous forme organique. Sa minéralisation dans le sol sous l'action des micro-organismes est nécessaire pour qu'il soit utilisé par les plantes. Cette minéralisation est fonction de l'environnement pédoclimatique et du niveau de stabilité du compost. Un compost peu stabilisé pourra entraîner une immobilisation transitoire de l'azote dans le sol. Il est donc nécessaire de bien connaître les cinétiques d'évolution de ces produits, tant au cours du compostage qu'après l'apport au champ. En fonction de l'objectif visé, la gestion du procédé doit permettre de fournir un compost très stabilisé qui apportera au sol une MO bien humifiée qui se minéralisera lentement, ou un compost moins stabilisé, stimulateur de l'activité microbienne du sol et qui se dégradera rapidement après apport. Là encore, des tests de laboratoire sont en cours de normalisation pour évaluer ces valeurs fertilisantes azotée et phosphatée des PRO.

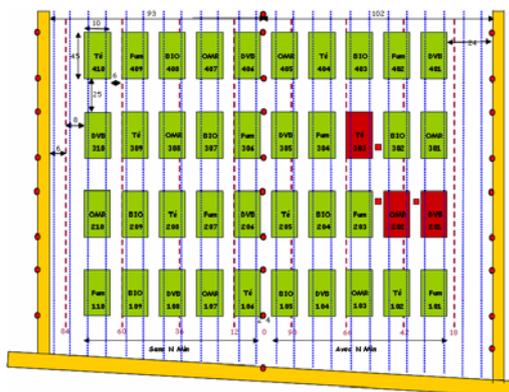
2. Effets des composts sur les sols et les récoltes

Afin d'étudier les effets des apports de PRO sur des agrosystèmes, des dispositifs de moyenne/longue durée ont été mis en place dans lesquels sont mesurés au fur et à mesure des apports les effets de différents PRO sur la qualité des récoltes, des eaux, des sols.

Deux essais pilotés par l'INRA sont aujourd'hui coordonnés de façon à uniformiser les protocoles et les méthodes d'analyse. Une base de données a été créée pour exploiter les données en commun. D'autres essais plus légers sont associés à ces deux sites pour augmenter la diversité des matrices étudiées (Schaub et al., 2007). Seuls les résultats de l'essai QualiAgro seront utilisés ici.

L'essai QualiAgro à Feucherolles (collaboration INRA-Veolia Environnement) est situé sur une parcelle d'agriculteur de six ha. Trois composts d'origine urbaine (compost d'ordures ménagères résiduelles, OMR ; compost de déchets verts et boue, DVB ; compost de biodéchets, BIO) sont comparés à un fumier en tant qu'amendement de référence et à un témoin sans apport organique avec complémentation en engrais azoté classique ou faible, sur des parcelles de 450 m² avec 4 répétitions (Figure 3). Les apports se font tous les 2 ans en fin d'été sur chaumes de blé, à des doses équivalentes à 4 t C/ha. La succession de culture est blé – maïs sauf en 2007 où l'essai est semé en orge.

Depuis la mise en place du site, des analyses sont régulièrement effectuées sur différentes matrices (sol, solution du sol, végétaux cultivés, eaux de pluie, PRO épandus, engrais). L'objectif est de caractériser les flux de polluants (ETM, CTO) dans les différents compartiments de l'écosystème cultivé, ainsi que la dynamique de la matière organique et des paramètres d'intérêt agronomique dans le sol. Les effets des apports sur la stabilité de la structure du sol, la structure des communautés microbiennes, ainsi que sur l'abondance et la diversité des lombrics ont été aussi étudiés.

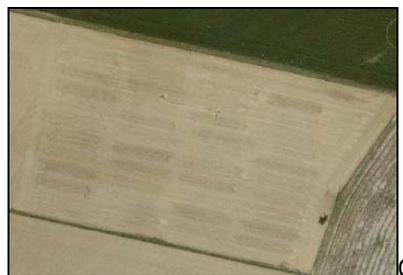


a

Figure 3 : a) Plan de l'essai QualiAgro (78 Feucherolles) ; b) épandage du compost OMR en Septembre 2006 ; c) vue aérienne du site QualiAgro en 2007.



b



c

2.1. Valeurs agronomiques des composts

Teneurs en matière organique des sols

La baisse des teneurs en MO est une des menaces affectant la qualité des sols (voir projet de directive européenne). Les apports de composts contribuent à l'entretien des stocks de MO dans les sols et pourraient même favoriser leur augmentation, donc la séquestration de C permettant ainsi de compenser l'augmentation des émissions de CO₂, un des principaux gaz à effet de serre. En outre, ces apports améliorent la fertilité des sols en lien avec l'augmentation des teneurs en MO dans les sols: stabilisation de la structure, libération d'éléments fertilisants pour les végétaux, stimulation de l'activité biologique du sol...

Dans l'essai QualiAgro, les apports de composts et fumier permettent l'augmentation des teneurs en C organique dans le sol, différemment selon le type d'amendement organique apporté (Figure 4a). Les composts les plus stabilisés (compost de Biodéchets, BIO, ou compost de déchets verts et boues, DVB) permettent des augmentations similaires au fumier alors que le compost OMR, encore très biodégradable (Figure 4b) génère les augmentations les plus faibles.

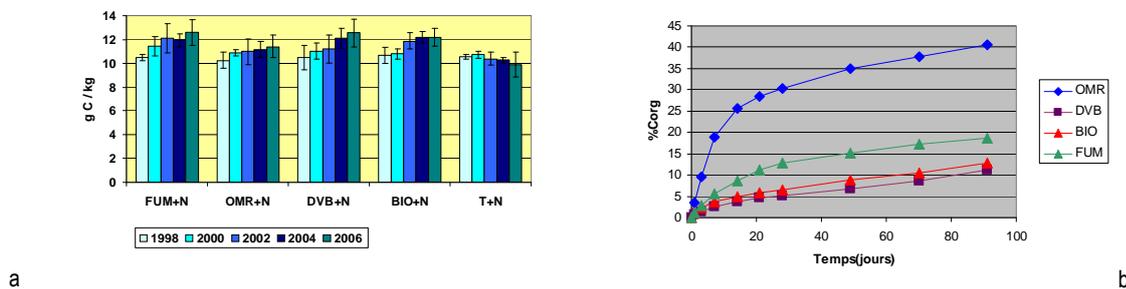


Figure 4 : a) Augmentation des teneurs en C organique du sol dans l'horizon de labour des différents traitements (FUM, fumier ; OMR, compost d'ordures ménagères résiduelles ; DVB, compost de déchets verts et boue ; BIO, compost de biodéchets ; T, témoin) ; b) biodégradabilité du C des composts et fumier mesurée en incubation.

L'indicateur ISMO semble prometteur pour simuler les augmentations des teneurs en matière organique dans les sols (Houot et al., 2009). Le modèle AMG (Andriulo et al., 1999 ; Saffih et Mary, 2008) est utilisé pour simuler l'évolution des teneurs en C organique dans le sol (Figure 5). Dans ce modèle, le carbone organique du sol est divisé en deux compartiments : un compartiment de C actif (Ca) et un compartiment de C organique stable qui n'intervient pas dans la dynamique du C organique au pas de temps considéré. Le C du compartiment actif se dégrade à une vitesse annuelle k . Une proportion h du C des PRO est incorporée au C organique actif.

Sur la base des cinétiques de minéralisation du C collectées dans la base de données ayant servi à calibrer l'indicateur ISMO (Lashermes et al., 2009), le coefficient h a été ajusté à l'aide du module STICS résidus (Nicolardot et al., 2001) modifié pour considérer deux compartiments de C dans les matières organiques apportées : un compartiment biodégradable et un compartiment plus récalcitrant. Les valeurs de coefficients h ajustées à l'aide de STICS sont bien corrélées avec les valeurs d'ISMO ($R^2=0,73$) qui peut donc être considéré comme un estimateur du coefficient h et utilisé pour simuler les effets d'apports de PRO sur les teneurs en C organique des sols.

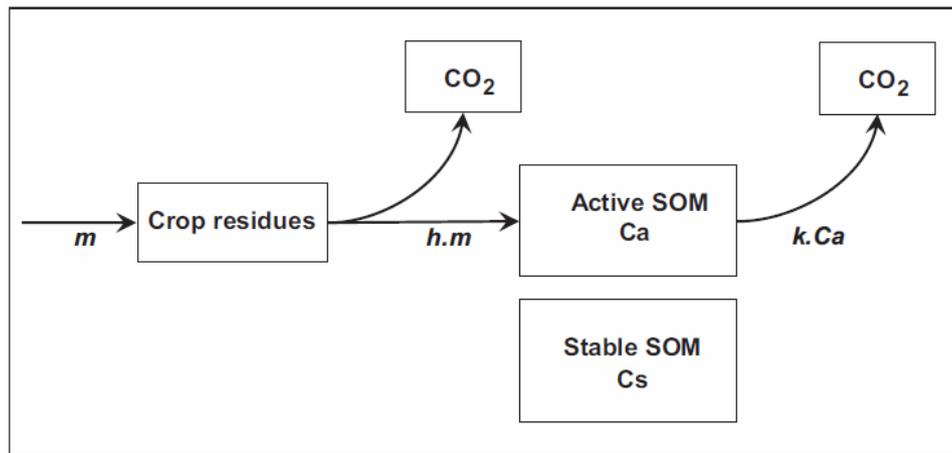


Figure 5 : Schéma du modèle AMG (d'après Saffih et Mary, 2008)

Stabilité de la structure des sols, le cas des sols limoneux :

En France, l'érosion hydrique touche plus de 5 millions d'hectares de sols cultivés, non seulement dans des parcelles en forte pente mais aussi dans celles à relief modéré développées sur des limons. Pour ces sols, l'instabilité de la structure explique en grande partie leur sensibilité à l'érosion hydrique. La texture limoneuse est à l'origine de cette instabilité structurale et la MO est le principal agent agrégeant dans ces sols. Différentes fractions organiques interviennent dans la stabilisation des agrégats, incluant les microorganismes, les polysaccharides, les substances humiques et les lipides. Ces fractions actives agissent sur la stabilisation des agrégats en augmentant la cohésion entre les particules solides du sol, ce qui améliore la résistance des agrégats de sol à l'éclatement lors de leur humectation et à la désagrégation mécanique sous l'impact des gouttes de pluie, et/ou le caractère hydrophobe de la surface des agrégats, ce qui limite aussi leur éclatement au contact de l'eau. Cependant, dans les sols cultivés, l'intensification des systèmes de culture a engendré une nette diminution des teneurs en MO, accentuant ainsi l'instabilité de leur structure. Pour faire face à ce problème, l'apport de PRO est une pratique classique pour améliorer le statut organique du sol et par conséquent sa structure et sa stabilité. Dans l'essai QualiAgro, les différents types de PRO améliorent la stabilité des agrégats selon des cinétiques variables en fonction de la stabilité des PRO (Figure 6).

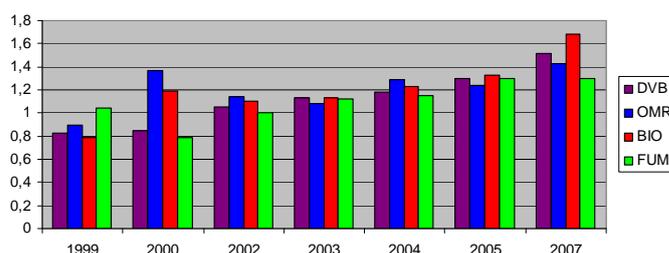


Figure 6 : Evolution relative par rapport au traitement témoin de la stabilité structurale dans les différents traitements organiques au champ, au fur et à mesure des apports des différents composts (Annabi et al., 2007a, b).

Valeur fertilisante des composts

Les apports successifs de composts augmentent la fertilité du sol. Cela est particulièrement visible dans le sous-essai recevant peu ou pas de complémentarité minérale azotée. Dans ce sous-essai, les rendements atteignent, voire dépassent les rendements obtenus avec une fertilisation minérale classique lors des cultures suivant les apports, après trois épandages pour les composts DVB et OMR, après quatre épandages pour le compost BIO et le fumier (Figure 7)

La fourniture en azote des PRO a été mesurée en absence de fertilisation minérale azotée ; globalement, les coefficients apparents d'utilisation (CAU) diminuent dans l'ordre Boue > OMR > DVB > Fumier composté - Fumier > BIO. La disponibilité de l'azote des boues (environ 30% du N apporté l'année de l'apport) est supérieure à celle des composts (environ 8 à 12 % du N apporté l'année de l'apport). Cependant, on observe une minéralisation progressive du N apporté par les composts pendant les années qui suivent l'année de l'apport.

La mesure des stocks d'azote minéral dans le profil de sol au cours de l'année montre que si la fertilisation minérale est conduite de façon raisonnée et prend bien en compte la disponibilité de l'azote des produits organiques, l'évolution des stocks d'azote minéral dans le profil de sol sont relativement comparables à ceux de modalités n'ayant reçu seulement que la fertilisation azotée minérale. Cependant, dans le cas des composts de boue, la disponibilité variable de l'azote des composts peut entraîner des risques de lixiviation des nitrates si les composts sont apportés en fin d'été et en absence d'implantation d'une culture piège à nitrates.

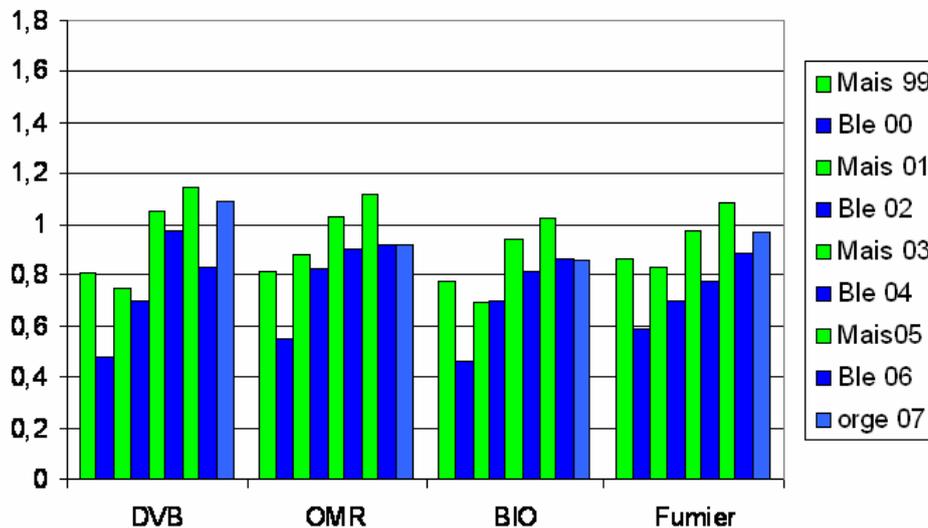


Figure 7 : Rendements relatifs par rapport au traitement témoin fertilisé (recevant une fertilisation azotée minérale classique) dans les traitements organiques du sous-essai recevant peu ou pas de fertilisation minérale azotée complémentaire. Les maïs 1999, 2001, 2003, 2005 et l'orge 2007 sont les cultures semées dans l'année après un apport.

Les composts sont apportés en tant qu'amendement organique, donc sur la base de leur teneur en carbone organique, pouvant conduire à des doses d'azote total apportées supérieures aux doses limites de la Directive Nitrates. Pour les composts dont la disponibilité en azote est importante (par exemple DVB), cela peut induire des reliquats azotés importants, notamment à l'entrée de l'hiver, pouvant ainsi contribuer à la dégradation de la qualité des eaux de drainage. Ces résultats permettront de mieux prendre en compte la dynamique de minéralisation et la disponibilité de l'azote des composts dans le calcul de la fertilisation azotée. Par ailleurs, ils pourraient conduire également à préconiser des apports en sortie d'hiver pour éviter les pertes d'azote minéral ou l'implantation de cultures pièges à nitrates pour éviter la lixiviation des nitrates après l'épandage. Enfin, une partie de l'azote peut être perdue par voie gazeuse soit par volatilisation de NH_3 soit par émission de N_2O , respectivement au cours des premiers jours ou semaines après apport. Un enfouissement rapide après épandage permet de limiter ces pertes.

La valeur fertilisante phosphatée des composts est équivalente à 70 à 90% de celle d'un engrais phosphaté minéral. En particulier, les composts de boue apportent des quantités importantes de phosphore.

Effet des apports sur l'activité biologique dans les sols

Structure des communautés microbiennes : Les communautés microbiennes des sols agricoles font ces dernières années l'objet de multiples études grâce en particulier au développement de méthodes faisant appel à la biologie moléculaire. Elles jouent en effet un rôle clé dans le cycle de la MO et des éléments minéraux. La fertilité des sols en est ainsi largement dépendante ; le devenir d'éventuels contaminants également, puisque les microorganismes agissent aussi bien sur la mobilité des métaux que sur l'adsorption/dégradation de polluants organiques. L'étude de la microflore du sol, en quantité et en diversité, permet ainsi, en complément d'analyses physico-chimiques, de comprendre plus finement le fonctionnement du sol.

L'impact des apports de PRO sur la structure des communautés bactériennes et fongiques a été étudié sur des prélèvements de sols effectués à différents temps après épandage, afin de comparer les effets des variations intra-annuelles des conditions climatiques à ceux liés aux épandages des PRO sur la structure des communautés bactériennes et fongiques.

Les résultats montrent que, globalement, l'épandage des composts étudiés ne modifie pas la structure des communautés bactériennes ni fongiques. En revanche, elle évolue avec le temps en lien avec des conditions climatiques variables, la présence ou non de plantes,...

Macrofaune lombricienne (en conditions de grandes cultures) : Les lombriciens (ou vers de terre) sont particulièrement importants dans les sols. En effet, le creusement de galeries, l'enfouissement et la transformation de la MO influencent certains processus physiques (transfert d'eau, de gaz ou de solutés), chimiques (cycles biogéochimiques) et biologiques (interactions avec les autres composantes de l'écosystème sol, des micro-organismes aux racines) dans les sols. Les observations faites dans le site QualiAgro montrent que l'apport du compost d'ordures ménagères résiduelles (OMR) a des effets positifs : abondance et biomasse totale plus importante d'une part, et meilleure survie ou meilleure croissance des individus de l'espèce majoritaire, d'autre part. Le compost de boue (DVB) a des effets plus limités.

2.2. Impacts environnementaux potentiels des composts

Eléments traces

Les préoccupations venant des milieux professionnels et des consommateurs, notamment vis-à-vis des éléments traces en cas d'apport de PRO sur les sols cultivés sont nombreuses. Les apports de PRO génèrent des flux d'éléments traces supérieurs aux autres sources d'entrée de ces éléments dans les sols, sauf pour ce qui concerne le cadmium et dans une moindre mesure le chrome apportés par certains engrais phosphatés. Ces flux d'éléments traces représentent 0,002 à 2 % des stocks d'éléments présents dans l'horizon d'incorporation. La majeure partie de ces éléments traces reste dans cet horizon d'incorporation des apports de PRO. Cependant, une faible proportion peut migrer en profondeur via la solution du sol, en particulier pour les éléments traces pouvant s'associer à la MO soluble comme Cu ou Zn. Les flux d'éléments traces sont aussi liés et augmentent avec la proportion d'éléments facilement extractible au CaCl_2 dans les composts. La proportion d'éléments traces passant dans les végétaux est très faible, variant de 0,0006 % à 0,1 % du stock du sol. L'effet des apports de PRO sur les concentrations en éléments traces dans les grains exportés est très faible comparé aux variabilités des concentrations observées d'un site à l'autre ou d'une année sur l'autre. Les concentrations dans les grains récoltés dans les traitements organiques restent similaires à celles

mesurées dans les traitements témoin ne recevant pas de compost comme le montre la Figure 8 (exemples du Cu et du Zn)

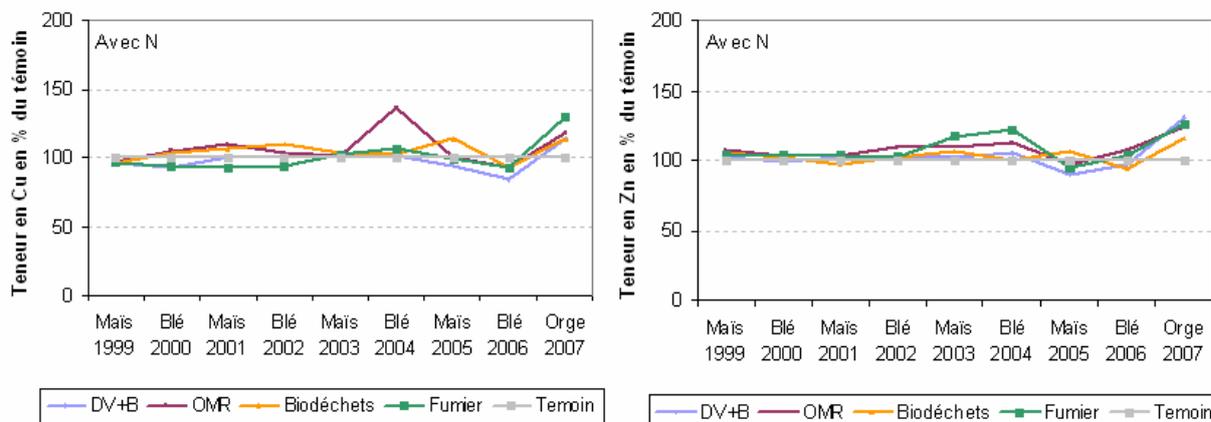


Figure 8 : Evolution des concentrations relatives par rapport au traitement témoin en Cuivre et Zinc dans les grains récoltés entre 1999 et 2007.

Composés traces organiques

Les PRO peuvent être vecteurs de micropolluants organiques (CTO). Ces CTO sont généralement en faibles concentrations mais il est nécessaire d'évaluer les conséquences d'épandages répétés qui peuvent générer des effets cumulatifs de faibles doses de ces polluants associés aux PRO épandus. Les sols contiennent aussi des CTO à des concentrations variables. Leur origine peut être associée à l'activité anthropique sur les sols, voire aux retombées atmosphériques d'origine anthropique ou naturelle. Les CTO présents dans les sols ou introduits par les PRO pourraient être transférés aux plantes et rentrer dans la chaîne alimentaire.

Les essais au champ ont permis de montrer que, sur une durée de 6 à 10 ans, aucune accumulation de HAP ou de PCB n'est décelable dans les sols, dont les concentrations sont plutôt faibles et représentatives des sols cultivés. Les flux introduits par les PRO représentent cependant un flux d'entrée de 1 à 5 % par rapport au stock du sol. Pour la somme des 7 PCB, ces flux représentent 1 à 13 % du stock du sol. Les flux pour d'autres CTO, comme les phtalates ou les LAS, qui sont présents dans les PRO à des concentrations variables, peuvent être supérieurs aux stocks des sols, sans qu'aucune accumulation ne soit décelée, sans doute en raison de la biodégradation de ces CTO dans le sol (Brochier et al., 2008).

Des CTO sont retrouvés dans les récoltes ; les plus abondants sont les phtalates et les LAS (linear alkylbenzene sulfonates). Des traces de naphthalène sont parfois observées. Les nonylphénols n'ont été détectés qu'une année dans le blé à Feucherolles. Dans l'ensemble des récoltes, aucune différence n'est observée ni entre les traitements ni entre les traitements et les témoins. Aucune relation n'est observée non plus entre les profils de CTO observés dans les récoltes et dans les sols (Brochier et al., 2008). Ainsi, l'origine des CTO dans les récoltes ne peut être expliquée par les apports de CTO lors de l'épandage des PRO. Il serait souhaitable de faire un bilan complet des CTO dans les différents essais, notamment en déterminant les flux de CTO apportés par les dépôts atmosphériques, les produits phytosanitaires et les engrais.

Pathogènes

Les recherches des germes référencés dans les normes réglementaires ont été effectuées dans les PRO épandus, dans le sol à différents pas de temps après épandage et dans les plantes récoltées du

site QualiAgro à Feucherolles qui permet en outre de comparer les apports de composts à un fumier de bovins, amendement classiquement utilisé en agriculture.

Les composts utilisés dans cette étude sont conformes à la réglementation au plan sanitaire. Aucune différence entre traitements organiques ni entre traitements organiques et traitement témoin n'est observée pour ce qui concerne la persistance des germes dans les sols ou leur détection dans les parties récoltées des plantes (Francou et al., 2006). Cependant des interrogations se posent sur la validité des méthodes d'analyse requise dans les normes réglementaires. Des travaux sont en cours au niveau analytique avec l'AFNOR au niveau européen (programme HORIZONTAL ayant pour objectif de développer des « Normes Horizontales » européennes fiables et harmonisées d'analyse dans les boues, sols et biodéchets traités), afin de garantir la justesse des résultats. Sur la base de la réglementation actuelle, l'utilisation de composts qui présentent une qualité microbienne conforme aux critères réglementaires ne semble pas présenter de risques de contamination du milieu.

Conclusion

Les épandages de PRO s'ils sont effectués dans les conditions réglementaires ne présentent pas de risques à court/moyen terme pour la qualité des sols et des récoltes. En revanche, les effets positifs sur la fertilité du sol sont avérés dès les premiers épandages. Les valeurs fertilisantes azotées et phosphatées des PRO sont à prendre en compte dans le raisonnement de la fertilisation minérale des cultures. Les effets à long terme restent à évaluer ainsi que les risques d'entraînement d'éléments dans la solution du sol vers les horizons profonds et les eaux profondes. Enfin, il semble qu'il soit nécessaire de faire un bilan complet des sources de CTO entrant potentiellement dans les parcelles cultivées. Cette évaluation à plus long terme nécessite sans doute le recours à des modèles prenant en compte l'ensemble des effets observés calés sur les premières années d'observations dans les essais au champ qui sont à l'origine des résultats présentés ici.

Références bibliographiques

- ADEME, 2007. Les déchets en chiffres ; données et références. Edition 2007, 24p.
- AFNOR, 2002. Norme NFU 44 095. Amendements organiques - Composts contenant des matières d'intérêt agronomique, issues du traitement des eaux. 22p.
- AFNOR, 2006. Amendements organiques - Dénominations, spécifications et marquage. 15p.
- AFNOR sous presse. Norme XPU 44-162. Amendements organiques. Caractérisation de la matière organique par fractionnement biochimique et estimation de sa stabilité biologique.
- AFNOR sous presse. Norme XPU 44-163. Amendements organiques. Caractérisation de la matière organique par la minéralisation potentielle du carbone et de l'azote.
- Andriulo A., Mary B., Guérif J., 1999. Modelling soil carbon dynamics with various cropping sequences on the rolling pampas. *Agronomie* 19, 365-377.
- Annabi M., Houot S., Francou, F., Poitrenaud M., Le Bissonnais Y., 2007a. Soil aggregate stability improvement with urban composts of different maturities. *Soil Science Society of America Journal* 71, 413-423.
- Annabi M., Le Bissonnais Y., Le Villio-Poitrenaud M., Francou C., Rampon J.N., Gaillard H., Bodineau G., Houot S., 2007b. Effets d'apports de produits résiduaux organiques sur la stabilité de la structure d'un sol limoneux. In: A. Schaub et al. (ed.), "Retour au sol des produits résiduaux organiques: des essais au champ de longue durée. Intérêt d'un réseau", Journée technique, ADEME/INRA, Colmar, 27/11/2007, pp. 69-79.

- Brochier V., Deschamps M., Houot S., 2008. Input of organic micropollutants in soil through compost application: possible transfer to plants. ORBIT 2008, Moving organic waste recycling towards resource management and biobased economy, 12-15 October 2008, Wageningen, 11p.
- Franco C., Poitrenaud M., Houot S., 2006. Pathogens in soil and maize after compost incorporation. International Conference ORBIT 2006 Biological Waste Management, From Local to Global, 13-15/09/2006, pp. 1157-1163.
- Franco C., Le Villio-Poitrenaud M., Houot S., 2007. Influence de la nature des déchets compostés sur la vitesse de stabilisation de la matière organique au cours du compostage. *Techniques Sciences Méthodes*, no 5, 35-43.
- Houot S., Duparque A., Damay N., Mary B., 2009. Les valeurs amendantes des produits résiduaux organiques. « L'utilisation des produits organiques pour fertiliser les cultures et amender les sols dans une agriculture durable » Journée COMIFER Académie d'Agriculture, 17 Mars 2009.
- Lashermes G., Nicolardot B., Parnaudeau V., Thuries L., Chausod R., Guillotin M.L., Linères M., Metzger L., Morvan T., Tricaud A., Vilette C., Houot S., 2009. Indicator of potential residual carbon in soils after exogenous organic matter. *European Journal of Soil Science* 60, 297-310.
- Nicolardot B., Recous S., Mary B., 2001. Simulation of C and N mineralization during crop residue decomposition : a simple dynamic model based on the C/N ratio of the residues. *Plant and Soil* 228, 83-103.
- Saffih-Hdadi K., Mary B., 2008. Modeling consequences of straw residues export on soil organic carbon. En ligne sur site *Soil Biology and Biochemistry* Soil Biology and Biochemistry, 40, 594-607.
- Schaub A., Valentin N., Poitrenaud M., Houot S., 2007. *Retour au sol des produits résiduaux organiques: des essais au champ de longue durée. Intérêt d'un réseau*, Actes de la Journée technique ADEME/INRA, Colmar, 27/11/2007, 180p.